

ネズ爺 & ハテナンの

特許 探偵団

DETECTIVE TEAM OF PATENT



中川国際特許事務所 所長・弁理士 中川 裕幸

空気抵抗は大敵じゃ！

ネズ爺



Vol.63 ラジアルエンジンの高出力化

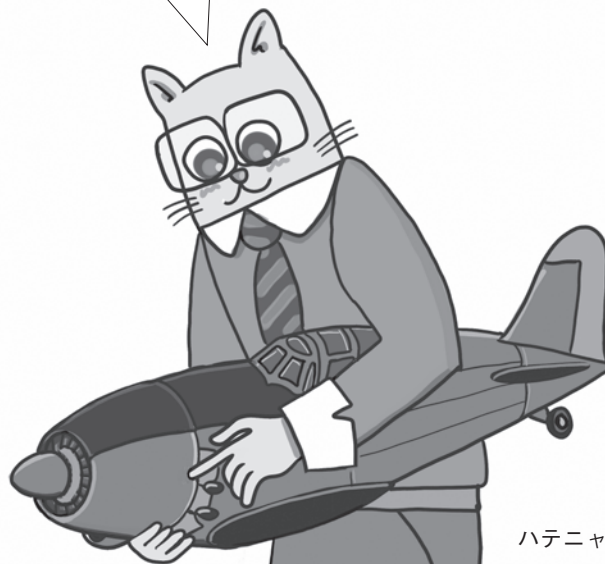
ハ：ネズ爺、前回まで見てきたターボチャージャーやスーパーチャージャーは、主として液冷エンジンを高出力化するものでした。空冷エンジンの話は少なかったですニャ。

爺：今回は、空冷エンジンの典型的形式であるラジアルエンジンの高出力化について考察してみるぞ。

ハ：空冷エンジンは、液冷エンジンに比べて高出力化しにくい印象がありますね。

爺：それにはちゃんとした理由があるんじゃないよ。

雷電の急激に絞ったカウリング形状は、大径エンジンの空気抵抗低減のためだったんですニャア。



ハテナン

今回の特許公報： ラジアルエンジンの空冷構造

米国特許第2,426,871号

発明の名称：Air Cooling for Radial Engines

発明者：Leonard S. Hobbs

出願日：1942年5月22日

登録日：1947年9月2日

Patented Sept. 2, 1947

2,426,871

UNITED STATES PATENT OFFICE

2,426,871

AIR COOLING FOR RADIAL ENGINES

Leonard S. Hobbs, West Hartford, Conn., assignor to United Aircraft Corporation, East Hartford, Conn., a corporation of Delaware
Application May 22, 1942, Serial No. 444,668
8 Claims. (Cl. 121-171)

This invention relates to improvements in internal combustion engines with particular reference to radial air-cooled aircraft engines. An object of the invention resides in the provision, in an engine of the character indicated, and having a large number of cylinders arranged around a center for distributing engine cylinder provided with a further oblique of the arrangement of the cooling air is illustrated. Other objects from the specification and the accompanying drawings will be apparent to those skilled in the art.

disposed at opposite sides of the central head portion 21 carrying the two rocker arm boxes 46, 42 and the port 38, which may be an exhaust port, and may be closely fitted to this central part of the head so that the only exit opening for the cooling air is at the downstream side of the cylinder 21.

Sept. 2, 1947.

L. S. HOBBS
AIR COOLING FOR RADIAL ENGINES
Filed May 22, 1942

2,426,871

Fig. 1

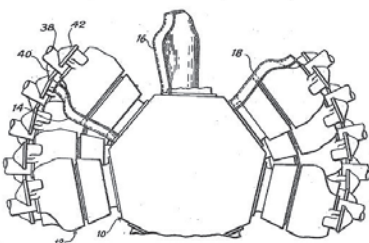
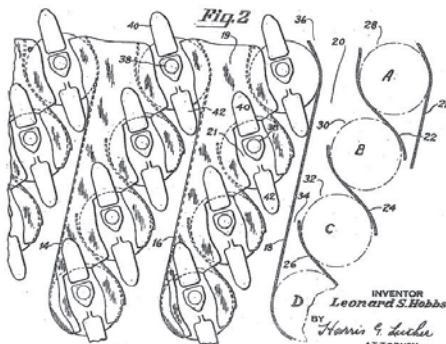


Fig. 2



1. ラジアルエンジンの特徴と限界

爺：まずは、ラジアル（Radial）エンジンの基本形状を考えてみるぞ。ハテナン、答えてみなさい。

ハ：そりゃ、シリンダを放射状に配列していることですよ。そもそも、このシリンダ配列がラジアル（放射状）の名前の由来ですニャ。

爺：フォフォフォ、そのとおりじゃな。結果として、全体が円筒形状になるわけじゃ。では、シリンダの配列に注目して、これと別形式のエンジンを何という？

ハ：日本語だと直列エンジンですよ。

爺：そうじゃ。英語はインライン（In-line）エンジン、つまりシリンダを前後方向に並列に並べたエンジンじゃな。さて、この両者のシリンダ配列から、機能的な相違が生じることが分かるか？ 外観を比較してみるぞ。



ハ：形状は大きく違うけど、ニャンだろう。

爺：エンジンは適切な冷却がなされないと、シリンダ内の燃焼に影響が出てしまうのじゃよ。

ハ：ああ、そうか！ ラジアルエンジンでは、それぞれのシリンダの正面に空気が当たって冷却されますが、インラインエンジンでは前のシリンダが邪魔をして、空気が当たりませんね。空冷となると後列の冷却が困難です。

爺：そういうことじゃ。だから、インラインエンジンはシリンダに外殻を被せ、水などの液体を通過させて冷却しなければならん。インラインエンジンのほとんどが液冷エンジンである理由はそこにあるのじゃ^{*1}。

ハ：あ、そうですね。前々回のドイツのDB601エンジンシリーズも、前回の英国のマーリンエンジンも、インラインエンジンで、ラジエータ^{*2}を必要とする液冷エンジンでした。冷却を考えると、ラジエータが不要な、シンプルなラジアルエンジンが優れてますニャ。

爺：逆説的に言えば、ラジアルエンジンが戦闘機のエンジンとして終戦まで生き残ったのは、冷却装置が不要な、その簡素な構造が理由なのじゃよ。

ハ：え〜、「生き残った」だなんてひどい言い方です。

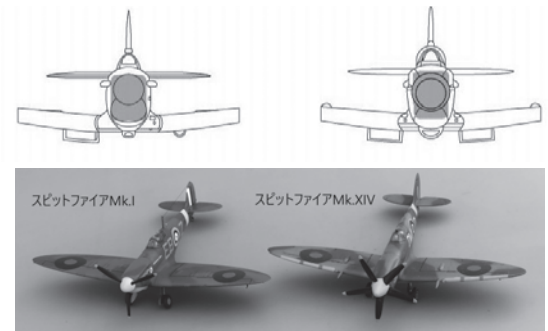
爺：エンジンの高出力化という点で、ラジアルエンジンには構造的なハンディがあるんじゃよ。

ハ：ニャンだろう？

爺：高出力化に伴う正面投影面積の増大じゃ。

ハ：それが、なぜハンディになるんですか？

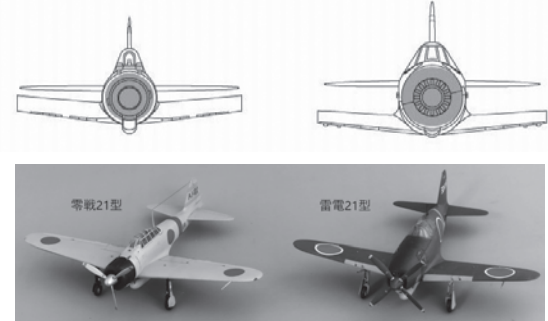
爺：まずは、次の図を見てもらおう。



爺：1030hpのマーリンエンジンを搭載したスピットファイアI型(左)と、2035hpのグリフォンエンジンを搭載した同XIV型(右)^{*3}の正面図比較とその模型じゃよ。

ハ：ニャるほど、液冷エンジンは高出力化してもエンジンの正面投影面積は増えないんですニャ^{*4}。

爺：今度は、空冷エンジンの高出力化の例を見てみるぞ。いずれも堀越二郎が設計した。零戦21型(左)と雷電21型(右)じゃ。



ハ：うわ、液冷エンジンに比べて、正面投影面積がてきめんに増えますね。

爺：零戦は980hpの栄エンジンを搭載しているのに対して、雷電は1480hpの火星エンジンを搭載しておる。後者の直径は前者のそれより19cmも大きいんじゃ。

ハ：正面投影面積が増えることによって空気抵抗が増し、結局は馬力の上昇ほどは速くならないということですか？

爺：雷電は大径大馬力エンジンの使用を前提に、空気抵抗の軽減のためエンジンを後方に配置し、先端に向けて機首の径を絞っておる。大径エンジンの空気抵抗を減らすための堀越二郎苦心の設計じゃ。

ハ：ナイスアイデアです。

爺：しかし、機首を尖らせるため、エンジンと機首先端のプロペラをつなぐプロペラ軸が長くなったことで、悪性の振動問題が生じたんじゃ^{*5}。やはり正面投影面積は小さいに越したことはないんじゃよ。

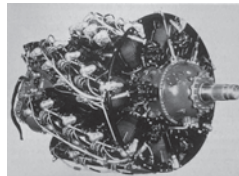
2. ワスプメジャーエンジン

爺：では、ハテナン。正面投影面積を増加させずに出力を増やすにはどうしたらよい？

ハ：フフフ、「知らないのですか、フリーレン様。シリンダ列を増やせば馬力は増えるんですよ^{*6}」

爺：誰がフリーレンじゃ(苦笑)！ じゃが、それが一つの解決策じゃな。米国のプラット・アンド・ホイットニー社 (Pratt and Whitney)^{*7}は、第二次世界大戦中に次のエンジンを開発しておる。R-4360 ワस्पメジャー (WASP Major)^{*8}エンジンじゃ。

R-4360ワस्पメジャーエンジン
(出典：『世界の航空エンジン(1)
レシプロ編』 グランプリ出版)



ハ：一気に4列ですか！ シリンダ数はいくつですか？

爺：各列7個じゃから、全部で28個じゃ。

ハ：でも冷却はどうするんですか。後列にいくに従って、徐々にシリンダの冷却が困難になりそうです。

爺：今回の特許発明は、まさにそこをポイントとした、プラット・アンド・ホイットニー社からの出願なんじゃよ。クレームを見てみよう。

1. In an air-cooled radial engine having a plurality of cylinders extending radially from a central crankcase and arranged in at least three circumferential rows and in longitudinal banks with **the cylinders in each bank progressively angularly displaced in the same direction, a baffle member** extending from the front cylinder of each bank to the rear cylinder of the adjacent bank to **provide** along one side of each bank a rearwardly converging **air flow passage**, and **an air guide baffle** between each two adjacent cylinders in each bank.
(以下のクレームは省略)

1. 中央クランクケースから放射状に延び、少なくとも周方向に3列に配置され、各バンクのシリンダが同一方向に漸次角度変位する縦バンクに配置された複数のシリンダを有する空冷ラジアルエンジンにおいて、各バンクの前方シリンダから隣接するバンクの後方シリンダまで延び、各バンクの一側面に沿って後方に収束する空気流通路を提供するバッフル部材と、各バンクの隣接する各2つのシリンダ間に設けられたエアガイドバッフルとを備える。

ハ：ああ、今回取り上げた特許発明は、まさにこのエンジンに関するものだったんですね！ そういわれれば、特許図面とエンジンの写真はそっくりです。

爺：前列から後列に向けてシリンダ列を徐々に角度を大きくしてひねっているんじゃ。クレームでは「漸次角度変位する」と書いてあるのう。

ハ：まるでEXILEのパフォーマンスみたいです！

爺：フオフオフオ、ビジュアル的には似ておるのう(笑)。

ハ：「空気流通路」というのは、冷却のためですね。

爺：そうじゃ。この方式なら、前方のシリンダ列の隙間から入った空気は無理なく後方のシリンダ列まで流れる。このエンジンの出力は3500hpじゃ。

ハ：当時、2000hp級エンジンを積んだ戦闘機が最先端だったことを考えると、3500hpとは異次元ですニャ。実際に、飛行機に搭載されたのですか。

爺：輸送機などの大型機用エンジンとして開発されたのじゃが、単発のグッドイヤー社 (Goodyear) F2G戦闘機^{*9}にも搭載されたんじゃ。



(出典：『The Vought F4U Corsair』 SAM Publishing)

ハ：水滴型キャノピーで、カッコイイ機体ですね！

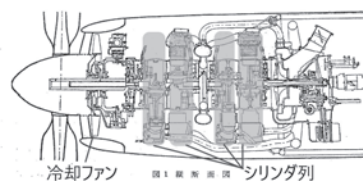
爺：結果として制式化されなかったんじゃがな。大馬力の単発プロペラ機の問題点はコラムで説明しよう。

3. 日本の特許発明と多列化の他の課題

爺：さて、シリンダ列を増やすことによる、エンジンの高出力化に話を戻すぞ。実は、日本にも同じ発想があったんじゃよ。

ハ：え、どんなエンジンだったのでしょうか？

爺：それは、幻の超大型爆撃機、富嶽^{*10}のためのエンジン・ハ-54じゃ。富嶽は太平洋を越えて、米国本土を直接爆撃するため、出力5000hpのエンジンを6発搭載する予定だったんじゃよ。これがそうじゃ。



ハ-54エンジン
(出典：水谷総太郎「超大型爆撃機『富嶽』のエンジン」日本機械学会誌85巻766号(1982年))

ハ：わっ、これもシリンダ列が4列ですニャ！

爺：各列のシリンダ数は9個なので、なんと合計36個が並び予定だったんじゃ^{*11}。

ハ：ケタ外れのエンジンですニャ。でも、さっきの米国エンジンでさえ各列7個ですよ。カウリング内にシリンダがぎっしりで、冷却大丈夫でしょうか。

爺：うーむ。ただ、冷却は当然考えられていて、この図面にも正面に冷却ファンが描かれておる。

ハ：それでは足りない気がするニャ〜。

爺：お主の言うように、オーバーヒートで失敗するエンジンが多いなか^{*12}、このハ-54も冷却手段は間違いなく大き

な課題となったじゃろう。

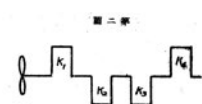
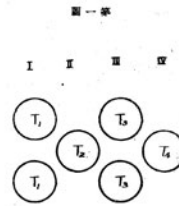
さて、各列のシリンダ角度をずらすことによる技術的課題は、他にもある。4列シリンダ配置について中島飛行機が取得した日本特許の公報を見てみよう^{*13}。

ハ：4列？ このハ-54エンジンのための特許発明ですか！

爺：そうじゃ。この特許図面から、シリンダの配置はクランク軸形状にも影響を与えることが分かる。

ハ：ニャるほど！ 各列シリンダをずらした角度に合わせて

クランク角度も正確に調整しないといけないですね^{*14}。
シリンダの多列化は一朝一夕にいかないですニャー。



JP147251特許公報
(発明の名称「四列星形発動機」)

COMMENTS

- ※1) ドイツのFi156シュトルヒのアルグスAS10や、米国のL-19連絡機のコンチネンタルO-470はインライン型の空冷エンジンである。
- ※2) ラジエータ自体の冷却面積はある程度の広さが必要であったが、空冷エンジンに比べてその配置位置が自由であり（例えば、P-51や飛燕は胴体下、Bf-109やスピットファイアは翼下、P-40やテンペストは機首エンジン下など）、それが各機種個性を出していた。
- ※3) 英米と日本の馬力数（hp）は同一ではないが（前者100に対して後者101.4）、区別せず表記した。
- ※4) シリンダ数やその直径を増やすにあたって、前後方向に拡張できたインラインエンジンに対し、各列円周360度内をシリンダが取り合うラジアルエンジンには空間的な限定があった。なお、インラインエンジンの高出力化には、過給機の改良などの貢献も大きかった。
- ※5) 雷電の振動問題は、プロペラの剛性を高めることで解決したが、そこに至るまでに多くの時間を費やした。
- ※6) アニメ『葬送のフリーレン』第13話。オリジナルのフェルンのセリフは「酒は百薬の長なんですよ」。
- ※7) 1925年に創立された航空エンジンメーカー。第二次世界大戦時代はツインワズプ（C-47、B-24等に搭載）、ダブルワズプ（F4U、P-47等に搭載）などの空冷エンジンを生み出し、戦後も民間機用の数多くのターボファンエンジンを開発した。
- ※8) ボーイングB-29爆撃機の改良型B-50やC-97輸送機、またダグラスC-124輸送機など、主として多発の大型機に搭載された。
- ※9) グッドイヤー社はF4U-1コルセアをFGとして生産していたが、これを独自に改良してF2Gとした。エンジンをワズプメジャーに換装しただけではなく、バブルキャノピーとした同機は、大馬力のモンスター機となったが、20機前後が生産されただけで、結局量産には至らなかった。戦後、民間に払い下げられた機体はエアレーサーとして活躍した。
- ※10) 中島飛行機が中心となって計画した日本陸軍の重爆撃機。全幅は63mに達する（B-29爆撃機は43m）巨大な機体であったが、戦局悪化により1943年7月に計画は中止された。
- ※11) 中島飛行機は複列18シリンダを有する誉エンジン（直径1180mm）を開発していた。このエンジンは複列14シリンダを有する栄エンジン（直径1150mm）から大幅に正面投影面積を大きくすることなく、高性能エンジンとなった（出力1860hp）。しかし、4列36シリンダを有するハ-54エンジンは、冷却をはじめとして解決すべき問題点も多く、成功するかどうかは未知数だったであろう。
- ※12) 液冷エンジンではあるが、ロールスロイス社のバルチャーエンジンは加熱問題を理由の一つとして失敗エンジンとなった。
- ※13) 日本特許147251号と連番で、シリンダ配列が異なる同147252号が特許となっている。これらは秘密特許の指定がされていた。『防衛技術の守り方』（櫻井孝著 発明推進協会）に詳述されているので参照のこと。
- ※14) ハ-54は、9シリンダ×2列の誉エンジンを2つ重ねるよう設計する予定だったと思われるが、クランク軸が長くなると品質管理が難しくなる（日本は国産液冷エンジンでこの問題を抱えていた）。また、冷却問題から本件特許のようにシリンダ列の角度を徐々にずらすように設計変更した場合、クランク軸は繊細な形状となり、現場での整備にも負荷がかかっただろう。

高出力エンジンを搭載した艦載機の問題点

本文で説明したように、空母で運用される艦載機は、その多くが空冷エンジンを搭載していた。ラジエータを有さない空冷エンジンはメンテナンスを必要とする部品点数が少なく、また、被弾に対する耐久性に優れていたためである。特に後者は、多少破損しても飛行を継続できる耐久性の観点から、空母の甲板以外に着陸場所のない洋上を飛行する艦載機にとって大きなメリットであったと思われる。

米海軍の艦載機に搭載されたエンジンも徐々に高出力化され、第二次世界大戦開戦当時の主力機F4Fワイルドキャットのエンジン出力は1200hpであったのに対して、終戦時に投入されたF8Fベアキャットのそれは2100hpを超えた。一方で、エンジン的高出力化は、着艦のやり直しの際に起こる機体の反動トルクという別の問題を生じさせた。米国エンジンは操縦者から見て時計回りに回転していたが、着艦のためにいったん回転を落としたエンジン回転数を、緊急時、再離陸のために急に上昇させると、その反動により機体が反時計回りに振られ、これが原因で事故を起こす場合があった。仮に、はるかに高出力の3500hpエンジンを積んだF2Gが空母上で運用されたとしても、結果として扱いづらい機体となった可能性が高い。



再上昇しようとして、反時計回りに回転するF8Fベアキャット
(出典：『世界の傑作機』文林堂)